



Technische Universität Chemnitz
Fakultät für Maschinenbau
Institut für Print- und Medientechnik

Studienarbeit im Sommersemester 2006

PROGRAMMIERUNG UND STEUERUNG EINES SPEKTRALFOTOMETERS

Robert Meißner
Sonneberg, 1. Oktober 2006

Betreuer: Dr. rer. nat. Andreas Willert
Verantwortlicher Professor: Prof. Dr.-Ing. Arved Carl Hübler

Technische Universität Chemnitz
Fakultät für Informatik

Robert Meißner <robert.meissner@informatik.tu-chemnitz.de>
Programmierung und Steuerung eines Spektralfotometers
Studienarbeit am Institut für Print- und Medientechnik
Sonneberg, 1. Oktober 2006

1	Einleitung und Aufgabenstellung	1
2	Programmkonfiguration	3
3	Unterprogramme	7
3.1	Initialize	7
3.2	Connect	7
3.3	Scan	10
3.4	ComRead	12
3.5	Open	13
3.6	Measure	14
4	Messung Spectrolino	19
5	Messung SpectroScan	29
6	Schlussbemerkung	33
7	Anhang.....	34
8	Quellenverzeichnis	35

1. Einleitung und Aufgabenstellung

Aufgabe meiner Studienarbeit ist die Entwicklung einer Software mit grafischer Benutzeroberfläche, welche es ermöglicht, Farbtesttabellen (color test charts) mit Hilfe des Spektralfotometers Spectrolino der Firma X-Rite Incorporated (ehemals GretagMacbeth GmbH) und dem dazugehörigen XY-Tisch SpectroScan zu messen. Das zu schreibende Programm soll standardisierte und auch nicht standardisierte Testtafeln weitgehend automatisch messtechnisch erfassen können.

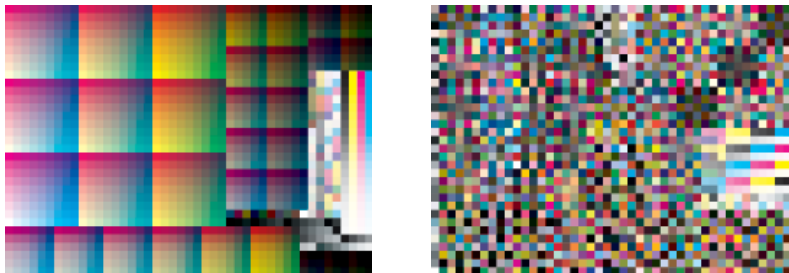


Abbildung 1.1

Charakterisierungstabelle
»ECI 2002«. Links sortierte
Farbfelder (visual layout),
rechts zufällige Anordnung
der Farbfelder (Scrambled-
Version, random layout).

Das Grundproblem liegt in der verständlichen Forderung, dass ein farbiges Originalbild bezüglich der Farben auch originalgetreu wiedergegeben werden kann. Dazu werden in der Industrie Prüfgeräte wie das Spectrolino verwendet, um mit ihnen ICC-Profile für verschiedene Ausgabegeräte zu erstellen. Die farbgetreue Reproduktion einer Vorlage ist vordergründig von der Messgenauigkeit der Messgeräte abhängig. Die exakte Funktionsweise der Geräte ist Voraussetzung, um Fehler im Farbmanagement-Workflow zu vermeiden.

Bezug zur Praxis

Mit Hilfe eines Testprogramms und einem geeigneten Messverfahren soll die Positionierungsgenauigkeit des SpectroScan XY-Tisches bei Dauerbetrieb untersucht werden, um auf eventuelle systematische Fehler der Steuermechanik schließen zu können. Dazu wurde eine Messschablone entwickelt, mit deren Hilfe es möglich war, die Position des Messkopfes (bzw. die Position des angesteckten Visiers am Spectrolino) genau abzulesen. Millimeterpapier als Hilfsmittel zur exakten Bestimmung der Position erwies sich als ungeeignet. Kapitel 5 beschreibt die Messergebnisse.

Messung zur
Positionierungsgenauigkeit
des SpectroScan XY-Tisches

Das Spektralfotometer Spectrolino soll bezüglich seinem Repetitionsverhalten bei Farbmessungen untersucht werden. Hierzu wurden längere Wiederholungsmessungen durchgeführt, welche die Grundlage der Versuchsauswertung darstellen. Für das Testfarbfeld wurden die CIE-L*a*b*-

Messung zur
Messgenauigkeit des
Spektralfotometers

CIE-Lab-Farbmodell

Werte gemessen. Über diese Werte lässt sich die Position der Farbe im dreidimensionalen CIE-Lab-Farbraum bestimmen und ggf. ein Farbabstand berechnen, der den Fehler nach der Versuchsmessung aufzeigt. Das CIE-Lab-Farbmodell stellt ein standardisiertes, gleichabständiges (gleichmäßiger als das CIE-XYZ-Farbsystem) und geräteunabhängiges Farbmodell dar, welches aus dem CIE-XYZ-Modell entwickelt wurde. Vorteilhaft für die Messung ist, dass die Helligkeitsinformation (Luminanz) auf einer eigenen, zur ab-Ebene senkrechten Achse liegt. Die Helligkeit ist von den Farbinformationen getrennt. Somit lassen sich nach der Messung leichter Aussagen über die Farbveränderungen machen. Die Farbinformationen sind auf der a^* -Achse (Übergang von Rot nach Grün) und der b^* -Achse (Blau zu Gelb) angezeigt (siehe Abbildung 4.7, Seite 23).

Entwicklungsumgebung

Die Software wurden von mir in Borland Delphi 2005 entwickelt. Der Quelltext wird auf CD-ROM zusammen mit der PDF-Version dieser Studienarbeit abgegeben. Wichtige Funktionen der Software sind in Kapitel 3 beschrieben. Die Konfiguration der Software über die externe Chart-Datei wird im folgenden Kapitel erläutert. Die Wahl der Entwicklungsumgebung fiel deshalb auf Borland Delphi, weil es damit relativ schnell möglich ist, eine Programmoberfläche zu erarbeiten. Auf Grund der modularen Erweiterbarkeit der Entwicklungssoftware stehen außerdem viele Komponenten zur Verfügung.

Systemanforderungen

Das entwickelte Messprogramm läuft unter Microsoft Windows und ist auf jedem heute zur täglichen Arbeit genutzten Rechner problemlos lauffähig. Es stellt also keine besonderen Anforderungen an die Hardware. Fehlt ein COM-Anschluss, kann dieser über einen USB-Adapter nachgerüstet werden. Die Messsoftware kommt mit emulierten COM-Anschlüssen klar.

Die vorliegende Studienarbeit sowie die entwickelte Messsoftware habe ich selbstständig und ohne Hilfe erarbeitet. Die verwendete Literatur ist im Quellenverzeichnis angegeben. Ein herzliches Dankeschön geht an Herrn Uwe Richter von X-Rite Incorporated, der mir das Spectrolino-Spektrofotometer zur Verfügung gestellt hat.



2. Programmkonfiguration

Die Konfiguration der Software geschieht vollständig über eine externe Datei, die Chart-Datei. In ihr sind Eigenschaften der zu messenden Vorlage, wie Anzahl der Felder in X- und Y-Richtung festgelegt als auch Parameter, unter denen die Messung durchgeführt werden soll. Die Datei ist in einem Editor entsprechend der Vorlage und den Konfigurationswünschen des Nutzers zu modifizieren. Auf den ersten Blick mag diese Vorgehensweise umständlich erscheinen, da viele Nutzer gewohnt sind, Programmeinstellungen direkt im GUI (Graphical User Interface) des Programms vorzunehmen. Die Konfiguration über eine externe Datei bietet aber in diesem Fall erhebliche Vorteile und ist auch auf Grund der relativ wenigen Konfigurationsparameter rasch vorzunehmen.

Externe Konfiguration

Durch Anlegen mehrerer Chart-Dateien ist das Management verschiedener Vorlagen schnell realisierbar. Nach der Messung sind die Konfigurationseinstellungen in der Datei immer noch gespeichert. Eine Wiederholungsmessung kann durch erneutes Öffnen der Chart-Datei schnell durchgeführt werden. Die Parameter und sogar die zuletzt verwendeten XY-Koordinaten der Justierpunkte sind immer noch gespeichert. Der Nutzer muss sich nicht im GUI der Software durch unzählige Menüs hangeln und die ehemalige Konfiguration wiederherstellen. Die verschiedenen Konfigurationsmöglichkeiten sind in der Chart-Datei als Kommentar eingeführt. Die Kommentare sind das Hilfesystem für die Software. Sollten später am Programm Modifikationen vorgenommen werden kann der Quelltext abgeändert werden, um neue Konfigurationseinstellungen aus der Chart-Datei zu lesen. Eine Veränderung des GUI durch neue Auswahllisten oder Check-Boxen ist nicht notwendig. Ein weiterer Vorteil ist, dass pro Messvorlage mehrere Chart-Dateien angelegt werden können, in denen verschiedene Messparameter gespeichert sind. Konfigurationsdaten und Chart-Informationen sind somit in einer Datei zentral gespeichert.

*Vorteile der Konfiguration
über eine externe Datei*

Die Chart-Datei ist im Prinzip eine INI-Datei, welche in Sections unterteilt ist. Jede Section kann mehrere Schlüssel mit Konfigurationswerten aufnehmen. In Delphi lässt sich effizient auf INI-Dateien zugreifen. Auf die Werte wird über Methoden zugegriffen, welche die Werte der Schlüssel in vorgesehene Variablen schreiben. Die Methoden zum Lesen der Werte haben den Vorteil, dass man ihnen Standardwerte übergeben kann. Wird der angeforderte Schlüssel in einer Section nicht gefunden, kommt es zu keiner Fehlermeldung. In diesem Fall wird der angegebene Standardwert zurückgeliefert. In unserem Falle besitzt eine Chart-Datei zwei Sektionen, eine Info-Section und eine Chart-Section.

*Aufbau der Chart-Datei
und Zugriff auf die
Konfigurationswerte*

Die Info-Section definiert Einstellungen wie Name, Häufigkeit des Weißabgleichs oder den Typ der Messung. Unter der Chart-Section sind die Anzahl der Felder in X- und Y-Richtung und die vorkonfigurierten Justierpunkte zu finden. In unserer Chart-Datei sind viele Werte zwingend anzugeben, andere dagegen sind optional. Undefinierte optionale Werte werden im Programm von Standardwerten überschrieben. Nachfolgend werden alle möglichen Konfigurationsoptionen vorgestellt, zuerst die Optionen aus der Info-Section, anschließend die Optionen der Chart-Section. Die Funktion der Name-Werte-Paare ergibt sich aus den Kommentaren, die mit einem Semikolon eingeleitet werden.

1. Konfigurationsoption

Name der Messvorlage

```
; name of chart (default „Unnamed Chart“)  
Name=CMYK Chart #1
```

2. Konfigurationsoption

Standarddateiname

```
; standard filename for results to be stored (no path, just filename!)  
Filename=CMYK_1.txt
```

3. Konfigurationsoption

*Einstellung des
physikalischen Filters für
das Spektralfotometer.*

```
; physical filter that should be used (default 01)  
; 01 = NO-filter or U-Filter  
; 02 = polarizer filter  
; 03 = Filter type D65  
; 04 = Filter type UVCut  
Filter=01
```

Die korrekte Einstellung des für die Messung notwendigen physikalischen Filtervorsatzes wird nach dem Weißabgleich überprüft. Der Spektrolino ist erst nach dem Weißabgleich in der Lage, den montierten Filter zu erkennen. Die Überprüfung würde sonst vor der Justierung der Messvorlage stattfinden. Ist ein von der Konfiguration abweichender Filter montiert, wird keine Messung durchgeführt.

4. Konfigurationsoption

Häufigkeit Weißkalibrierung

```
; white calibration after WB color fields (default 50)  
WB=10
```

Der Hersteller gibt die Vorgabe, nach je 50 Messungen einen neuen Weißabgleich durchzuführen. Dieser Wert wird im Programm als Standardwert verwendet. Wird der Schlüssel »WB« mit einem Wert belegt, findet eine Weißkalibrierung nach dieser konfigurierten Anzahl statt.

Der durch die zweite Konfigurationsoption definierte Standarddateiname für das Messergebnis kann nach Ende der Messung im Windows-Notepad geöffnet werden. Die Standardeinstellung unterbindet das Anzeigen der Messergebnisse nach Ende der Messung. Mit folgender Konfigurationsoption kann ein Anzeigen der Messergebnisse veranlasst werden.

```
; display results after measurement (default 0)
; 0 = no
; 1 = yes
Display=1
```

5. Konfigurationsoption

*Anzeige des
Messergebnisses?*

```
; measurement type (if omitted, no measurement can be done!)
; 1 = remission spectrum (RS)
; 2 = density spectrum (DS)
; 3 = CIE-Lab
; 4 = density
MT=1
```

6. Konfigurationsoption

Typ der Messung

Der Schlüssel »MT« definiert den Typ der Messung. Die Angabe ist obligatorisch. Die fehlende Angabe wird nicht durch einen Standardwert überschrieben. Findet die Software in der geladenen Chart-Datei keine Angabe des gewünschten Messungstyps, kann keine Messung durchgeführt werden. Der Nutzer wird über die Fehlkonfiguration informiert.

```
; name color fields automatically or use names given in this file
; (0 = fields automatically, 1 = use CF values for names, default 0)
Names=0
```

7. Konfigurationsoption

Benennung der Farbfelder

Damit die ermittelten Werte den Farbfeldern nach der Messung zuordenbar sind, müssen sie mit brauchbaren Namen versehen werden. Die Namen aller Farbfelder werden in die erste Zeile der Ergebnisdatei, getrennt durch Leerzeichen, aufgelistet. Die Benennung der Farbfelder kann automatisch erfolgen, indem im Farbfeldnamen die Zeile des Feldes als Buchstabe und die Reihe als Zahl aufgeführt sind. Für einige Anwendungsfälle kann es günstig sein, vordefinierte Namen zu verwenden. Vordefinierte Farbfeldnamen können über eine weitere Konfigurationsvariable definiert werden. Dabei ist es wichtig, für jedes Farbfeld einen Wert anzugeben. Die Farbfelder werden zeilenweise und von links nach rechts gezählt und über die CF<Nummer>-Schlüssel (color field) benannt. Wird kein Wert für ein Farb-

feld gefunden, wird der Standardfeldname »unnamed« verwendet. Standardmäßig wird die automatische Benennung der Felder genutzt. Wird die Benennung der Felder über die CF-Direktive gewünscht, sollte man sich vorher die Mühe machen, alle Felder in die Chart-Datei einzutragen, sonst kann man nach der Messung mit der Farbfeldbezeichnung »unnamed« möglicherweise nicht mehr viel anfangen.

8. Konfigurationsoption

*Vordefinierte
Farbfeldnamen (im Beispiel
sind nur 5 Felder benannt)*

```
; names for color fields (default „unnamed“)  
CF1=CMYK_005_000_000_000  
CF2=CMYK_010_000_000_000  
CF3=CMYK_015_000_000_000  
CF4=CMYK_020_000_000_000  
CF5=CMYK_025_000_000_000
```

9. Konfigurationsoption

Prefix für Feldnamen

```
; prefix for color field names (only used if Names=0, none if omitted)  
Prefix=CMYK_
```

Über die obere Direktive ist es möglich, einen Prefix für alle Farbfeldnamen anzugeben. Der Prefix findet allerdings nur bei der automatischen Benennung der Farbfelder Beachtung.

Es folgen die Optionen der Chart-Section. Die Angaben für die Anzahl der Felder in X- und Y-Richtung sind unerlässlich! Das Programm geht somit von einer rechteckigen Vorlage aus, bei der die Felder gleichmäßige Abstände pro Richtung haben.

10. Konfigurationsoption

*Anzahl der Farbfelder pro
Koordinatenachse*

```
; number of color fields in x- and y-direction (essential value!)  
X=20  
Y=12
```

11. Konfigurationsoption

*Vordefinierte Koordinaten
der Justierpunkte. Die
Werte werden nach
jeder Justierung mit den
zuletzt angesteuerten
überschrieben.*

```
; preset chart calibration points P1, P2 and P3 (default 0/0)  
P1_X=314  
P1_Y=218  
P2_X=2995  
P2_Y=235  
P3_X=2992  
P3_Y=378
```

3. Unterprogramme – Wichtige Funktionen und Prozeduren

Dieses Kapitel beschreibt die wichtigsten Programmroutinen meiner entwickelten Software. Es wird auf die Funktionsweise, die Ein- und Ausgaben, die notwendigen Datenstrukturen sowie Besonderheiten der Funktionen bzw. Prozeduren eingegangen. Sie sollen das Verständnis des Quelltextes erleichtern. Ich hatte vor, alle diskutierten Funktionen und Prozeduren als Anhang dieser Ausarbeitung beizufügen und ggf. bei meiner Beschreibung auf bestimmte Zeilennummer zu referenzieren. Der Umfang einiger Unterprogramme ist aber zu groß, um auf Papier gebracht zu werden und bringt keinen Mehrwert für die Arbeit. Da einige Routinen voneinander abhängen, kommt es hin und wieder zu Redundanz in den Beschreibungen.

3.1 Initialize – Grundlegende Initialisierungsroutine

Die Prozedur »Initialize(Sender: TObject)« wird beim Programmstart, genauer gesagt beim Event »Form1.Create«, einmalig aufgerufen. Hauptaufgabe der Prozedur ist die Bestimmung der am Rechner verfügbaren COM-Ports. Windows speichert Informationen über die verfügbaren COM-Anschlüsse in der Registry unter dem Schlüssel »HKEY_LOCAL_MACHINE\HARDWARE\DEVICEMAP\SERIALCOMM«. Kann der Registry-Schlüssel erfolgreich geöffnet werden, wird die globale Variable »Ports« vom Typ »TStringList« mit den Werten aller Zeichenfolgen initialisiert, welche unter dem Schlüssel gespeichert sind. Diese Variable stellt die Grundlage für weitere Unterprogramme, z. B. die Funktion »Scan: String« dar. Über jeden gefundenen Port wird der Nutzer im Log-Fenster informiert. Tritt ein Fehler auf, d. h. kann der zwingend notwendige Registry-Schlüssel nicht geöffnet, somit auch keine Informationen über COM-Ports erlangt werden, wird der Tool-Button, dessen OnClick-Event eine Verbindung aufbauen würde, deaktiviert. Solange keine COM-Anschlüsse gefunden werden bzw. am Rechner keine verfügbar sind, kann der Nutzer keine Messungen durchführen. Das Log-Fenster informiert darüber, dass die notwendigen Anschlüsse nicht gefunden wurden. Ein fehlender COM-Anschluss kann über USB-COM-Adapter nachgerüstet werden. Gerade bei neueren Laptop-Rechnern wird gerne auf den COM-Anschluss verzichtet.

Bestimmung der COM-Ports

*Fehlerbehandlung bei
fehlendem Registry-Eintrag*

USB-COM-Adapter

3.2 Connect – Verbindungsaufbau zum SpectroScan XY-Tisch

Der Klick auf den Connect-Button löst dessen OnClick-Event aus, welches nun die Prozedur »Connect(Sender: TObject)« zur Ausführung bringt. Die globalen Booleschen Variablen »Connected« und »Found« sind für die Connect-Routine von zentraler Bedeutung. Beide Variablen werden im Pro-

Verbindungskonfiguration

TMS Async32

gramm bereits während der Deklaration mit dem Wert »false« initialisiert, da nach unmittelbarem Programmstart noch nicht nach dem SpectroScan gesucht wurde und noch keine Verbindung aufgebaut ist.

Zu Beginn des Unterprogrammes wird der Wert der globalen Variablen »Found« überprüft. Beim erstmaligen Verbinden wird die Prozedur »Scan:String« aufgerufen, welche die Konfiguration für die Verbindung bestimmt. Sollte bereits eine Konfiguration vorliegen (Variable »Found« besitzt den Wert »true«) wird angestrebt, diese Konfiguration für den anstehenden Verbindungsaufbau zu verwenden. Gespeichert wird die Verbindungskonfiguration in den von der verwendeten COM-Komponente (TMS Async32) vorgesehenen Eigenschaftseinträgen (designtime properties). Nach dem Öffnen des COM-Ports mit einer vorherigen Verbindungskonfiguration wird dennoch ein Test auf eine funktionierende Verbindung mit Hilfe des Kommandos »Output Status« vorgenommen. Ist dieser erfolgreich, wird die Programmroutine in der zweiten if-Verzweigung fortgesetzt, andernfalls muss erneut eine Verbindungskonfiguration ermittelt werden. Gerechtfertigt wird diese Funktionsweise damit, dass es nun möglich ist, die Konfiguration der Verbindung durch die Wahl eines anderen COM-Ports (Umstecken des Verbindungskabels) oder einer neuen Baudrate problemlos zu verändern, ohne Notwendigkeit eines Programmneustarts.

Wurde durch die Scan-Routine der XY-Tisch gefunden, wird der erste Zweig der zweiten if-Verzweigung abgearbeitet. Dieser Zweig kann nur ausgeführt werden, wenn die Variable »Found« den Wert »true« besitzt, was nach einem erfolgreichen Suchlauf oder einer noch funktionierenden vorangegangenen Verbindungskonfiguration der Fall ist (welche zuvor natürlich auch durch die Scan-Routine bestimmt wurde). Die eigentliche Verbindung wurde in diesem Fall schon durch die Scan-Routine bzw. beim Test der letzten Verbindungskonfiguration hergestellt. Der Nutzer wird im Log-Fenster über den erfolgreichen Verbindungsaufbau und die Verbindungsparameter informiert.

Änderungen im GUI

Des Weiteren werden die notwendigen Informationsfelder in der Statusleiste (Status-Bar-Panels) des Programmfensters mit den Verbindungseigenschaften aktualisiert. Da nun eine Verbindung besteht, werden die Eigenschaften »Enable« und »ShowHint« des Connect-Buttons auf »false« gesetzt, um zu verhindern, dass es durch erneutes Klicken auf die Schaltfläche zu einem undefinierten Verhalten des Programms kommt. Die Schaltfläche ist somit deaktiviert (grau gewordenes Icon), d. h. alle ihr zugeordneten Events können nicht mehr eintreten. Ein auf ihr aus Versehen ausgeführter Klick startet also nicht mehr die Connect-Routine, welche

dem OnClick-Event zugeordnet ist. Es werden ebenfalls die Eigenschaften des Disconnect-Buttons verändert. Allerdings wird dieser aktiviert, um den Aufruf der Disconnect-Routine zu ermöglichen. Klarer Fall, beide Buttons haben immer eine entgegengesetzte Belegung der beiden Eigenschaften »Enable« und »ShowHint«.

Da nun eine Verbindung hergestellt wurde, wird die Variable »Connected« auf »true« gesetzt. Für beinahe alle Befehle, welche der SpectroScan unterstützt, muss sich das Gerät im Onlinezustand befinden. Deshalb wird durch den Aufruf der Prozedur »SetSpectroScanStatus(Status: Boolean)« der Onlinezustand gesetzt. Diese Prozedur erwartet einen Booleschen Parameter. »True« versetzt das Gerät in den Onlinezustand, »False« in den Offlinezustand.

Verbindung hergestellt

Über das Kommando »OutputStatus« wird die Ausgabe des Statusregisters angefordert. Die Antwort des SpectroScans wird über die Funktion »ComRead(Timeout, Wait: Integer): String« gelesen. Aus dem zurückgelieferten String wird das Statusregister (1 Byte) mit Hilfe der Funktion »Copy« extrahiert. Die Funktion »HexToBin(Hex: String): String« konvertiert dieses Byte in seine binäre Darstellung (8-Bit) und übergibt diese als String an die Prozedur »DisplayKeyStatus(StatusSet: String)«. An bestimmten Positionen gesetzte Bits repräsentieren beispielsweise den Online- bzw. Offlinezustand oder geben Auskunft darüber, ob das elektrische Feld zum Halten der Vorlage an- oder ausgeschaltet ist. Die Informationen über den Betriebszustand und die PaperHold-Funktion des SpectroScans werden genauso wie die Verbindungskonfiguration in der Statuszeile angezeigt. Im Anschluss wird durch die aufgerufene Prozedur »InitDevice« über das Kommando »InitDevice« der SpectroScan in einen definierten Zustand gebracht und die Nullpositionen der Steuermotoren bestimmt.

Anzeige des Statusregisters

Die Routine »ScanSpectrolino« sucht nach dem angeschlossenen Spektralfotometer Spectrolino. Entspricht der zurückgelieferte Wert (ScanErrorType) dem Wert »0x00«, wurde der Spectrolino gefunden. Das Ergebnis der Routine wird dem Nutzer im Log-Fenster mitgeteilt. Wird kein Spectrolino gefunden, wird die Verbindung zum SpectroScan getrennt und die Subroutine beendet. Nach positivem Test auf das Spektralfotometer kommt die Prozedur »ResetSpecrolino« zur Ausführung. Diese setzt mit dem Kommando »ResetStatusDownload« die Standardparameter des Spectrolino. Die folgende Routine »ResetSpecrolino« stellt das Fotometer auf Remissionsmessungen ein. Eine weitere Prozedur »ParameterDownload« stellt die gewünschten farbmetrischen Parameter am Messgerät ein. Diese sind über die Chart-Datei konfigurierbar (siehe Kapitel 2).

Suche nach Spectrolino

*Reset des
Spektralfotometers*

Messparameter

Der zweite Zweig der if-Verzweigung wird ausgeführt, wenn die Scan-Funktion keinen XY-Tisch findet. Der Benutzer wird über den fehlgeschlagenen Verbindungsversuch informiert und aufgefordert, die Kabel-Verbindung zum Gerät zu überprüfen.

3.3 Scan – Automatische Konfigurationsfunktion

Verbindungskonfiguration

Die Funktion »Scan: String« sucht an allen verfügbaren COM-Ports nach dem SpectroScan XY-Tisch und legt die aktuelle Verbindungskonfiguration fest. Dies schließt neben den »realen« Anschlüssen auch virtuelle, durch USB-COM-Adapter emulierte COM-Ports, mit ein. Die dafür notwendigen Treiber müssen installiert sein, um Windows den Zugriff auf die COM-Anschlüsse des USB-COM-Adapters zu ermöglichen. Man muss also nicht erst den COM-Port und die Baudrate konfigurieren. Dies wird von der Funktion »Scan: String« zuverlässig erledigt.

Wird der SpectroScan gefunden, werden die beiden globalen Booleschen Variablen »Connected« und »Found« auf »True« gesetzt. Eine auf den Wert »True« gesetzte Variable »Found« zeigt an, dass der SpectroScan gefunden und eine Verbindungskonfiguration ermittelt wurde. Die Funktion der Variablen »Connected«, die ebenfalls nur den Wertebereich »True« oder »False« besitzt, sollte selbsterklärend sein. Unabhängig davon, ob der XY-Tisch gefunden wird oder nicht, liefert die Funktion als Rückgabewert (Datentyp String) in jedem Fall die Antwort (Status Answer) auf den Befehl »Output Status«, welcher die aktuelle Belegung des internen 8-Bit-breiten Status-Registers zurückliefert. Laut Handbuch soll der Befehl »Output Status« zum Test einer geöffneten Verbindung genutzt werden.

Ist die Verbindung Rechner-SpectroScan richtig konfiguriert, d.h. wurde durch die Scan-Funktion der korrekte COM-Port ausgewählt und die verwendete Baudrate entspricht der an den DIP-Schaltern des SpectroScan eingestellten, liefert der Befehl »Output Status« als Antwort einen String der mit »:D183« beginnt. Selbstverständlich muss eine physikalische Verbindung (richtiges Kabel, im Sinne einer richtigen Belegung) zwischen Rechner und SpectroScan bestehen und dieser auch eingeschaltet sein, was hier grundsätzlich vorausgesetzt wird. Wie immer liest die Funktion »ComRead(Timeout, Wait: Integer): String« Daten vom COM-Port. Nachfolgend findet diese Fallunterscheidung für die »Status Answer«, die der String-Variable »Result« zugeordnet wurde, statt. Mit Hilfe der Funktion »pos« wird überprüft, ob der String »:D183« an der ersten Position der Variablen »Result« steht. Die Fallunterscheidung findet für alle möglichen Kombinationen aus den verfügbaren COM-Ports des Rechners mit den

unterstützten Baudraten statt (algorithmentechnisch gesehen). Mit Hilfe zweier ineinander geschachtelter for-Schleifen wird über alle möglichen Kombinationen iteriert. Die erste der beiden for-Schleifen zählt über alle verfügbaren COM-Ports. Die Variable »Ports« vom Typ »TStringList« wird beim Programmstart initialisiert und speichert alle verfügbaren COM-Ports des Rechners. Die Methode »Count« liefert die Anzahl der Elemente der Stringliste, welche als obere Grenze für die for-Schleife dient. Die zweite for-Schleife iteriert (von 1 bis 11) über alle möglichen Baudraten.

Die erste Kombination aus COM-Port und Baudrate, bei welcher die »Status Answer« mit »:D183« beginnt, wird als aktuelle Verbindungskonfiguration gespeichert. Diese Verbindungskonfiguration wird im Log-Fenster notiert und ist außerdem in der Statuszeile des Programms während einer bestehenden Verbindung angezeigt.

Bei einem erneuten Verbindungsaufbau wird diese gespeicherte Konfiguration verwendet, d. h. es ist kein erneuter Aufruf der Funktion notwendig. Selbstverständlich wird nach jedem erneuten Verbindungsaufbau die verwendete Verbindungskonfiguration überprüft. Schlägt diese Überprüfung jedoch fehl, d. h. es wird ein anderer COM-Port verwendet oder die Baudrate am SpectroScan wurde geändert, wird die Funktion »Scan: String« erneut aufgerufen, um die neue aktuelle Verbindungskonfiguration zu bestimmen. Eine derartige Situation wird dem Benutzer im Log-Fenster mitgeteilt.

*Gespeicherte
Verbindungskonfiguration*

Logischerweise nimmt die Suche nach der aktuellen Konfiguration einige Zeit in Anspruch. Dies ist der Preis für Bequemlichkeit. Ein kleiner Preis dafür, um nicht noch einmal unter den Schreibtisch zu den Wollmäusen zu krabbeln, um nachzuschauen, an welchem COM-Port man doch gerade das Kabel angeschlossen hat. Auch dürfte das SpectroScan-Handbuch nicht immer griffbereit sein, um herauszufinden, welche Baudrate das Mäuseklavier an der Rückseite des SpectroScans gerade anschlägt.

*Dauer der
Verbindungskonfiguration*

Im günstigsten Fall entspricht die verwendete Konfiguration derjenigen, auf die zuerst geprüft wird (erster COM-Port und 9600 Baud), was keine bemerkbare zeitliche Verzögerung verursacht. Der schlechteste Fall (letzter COM-Port und 110 Baud) wird erst nach einigen Sekunden überprüft. Die wirkliche Zeitdauer ist abhängig von der Anzahl der gefundenen COM-Ports und von den an die Funktion »ComRead(Timeout, Wait: Integer): String« übergebenen Timeout- und Wait-Parameter. Unter Verwendung der Standardparameter dauert die Suche nach dem SpectroScan XY-Tisch an einem COM-Port mit allen 11 unterstützten Baudraten ca. 6 Sekunden.

Ein Programmablaufdiagramm der Scan-Funktion ist im Anhang zu finden. Es verdeutlicht die Funktionsweise und hilft die Beschreibung nachzuvollziehen. Bei dieser Funktion bietet sich eine grafische Darstellung auf Grund der zwei Zählschleifen an. Ich hatte vor, mehrere Darstellungen von Unterprogrammen aufzuführen. Da die meisten Unterprogramme aber dafür viel zu lang sind und einen strengen linearen Ablauf haben, sehe ich darin keinen nennenswerten Vorteil.

3.4 ComRead – Lesen des Eingabepuffers der COM-Schnittstelle

Die Funktion »ComRead(Timeout, Wait: Integer): String« spielt eine grundlegende Rolle im Programmablauf. Mit ihrer Hilfe werden die Antwortdaten auf gesendete Gerätekommandos von der COM-Schnittstelle gelesen. Ihr sicheres Funktionieren ist Voraussetzung für einen stabilen und fehlerfreien Programmablauf. Genauer gesagt werden die Daten aus einem vom Betriebssystem und der COM-Komponente verwalteten Datenpuffer gelesen. Wurden die Daten gelesen, werden diese automatisch aus dem Puffer entfernt. Ein erneutes Lesen von Antwortdaten aus dem Puffer ist somit nicht möglich, ein explizites Löschen von Pufferdaten nicht notwendig.

Puffer der COM-Verbindung

Die Funktion erwartet zwei Parameter vom Datentyp Integer. Beide repräsentieren Zeitwerte in Millisekunden. Der Wert in der Variablen Timeout wird an die Methode »ReadCharWait« der COM-Komponente übergeben. Diese Methode wartet nun maximal so lange auf ein Character-Zeichen, bis der Timeout abgelaufen ist, kehrt aber bereits früher zurück, wenn ein Zeichen bereits schon vor Ablauf des Timeouts zum Lesen bereit ist. Dieses Verhalten ist mit der Unix/Linux-Systemfunktion »select« (mit verwendetem Timeout) vergleichbar. »ReadCharWait« blockiert im ungünstigsten Falle also maximal so lange, wie der Wert »Timeout« in Millisekunden groß ist. Diese Methode macht es möglich, etwas größere Timeout-Werte zu wählen. Damit erhöht sich die Sicherheit beim Lesen von der COM-Schnittstelle, da Timeouts auf Grund zu niedriger Werte verhindert werden. Sollte der Timeout einmal ablaufen, wird die Zeichenkette »TIMEOUT« zurückgeliefert.

Methode »ReadCharWait«

Da »ReadCharWait« bereits zurückkehrt, wenn nur ein Zeichen im Puffer zum Lesen bereitsteht und nicht erst dann, wenn die Antwort des Spectro-Scan vollständig ist (das Ende einer Antwort kann nicht bestimmt werden), wird der weitere Parameter »Wait« notwendig. Wurde von der Methode ein Wert der Länge ungleich Null zurückgeliefert, muss noch einige Millisekunden gewartet werden, bis alle Antwortdaten im Puffer zum Lesen bereitstehen. Über den sleep-Befehl soll solange gewartet werden, bis die

Parameter »Wait«

Daten komplett sind. Für die meisten Antwortdaten reicht hier ein kleiner Wert von 50 Millisekunden aus. Nicht so bei längeren Antwortdaten, den Messergebnissen. Remissionsmessungen sind umfangreicher als andere Antworten. Hier sollte mindestens eine Dauer von 300 Millisekunden gewartet werden. Sicherheitshalber habe ich den Wert im Programm auf 500 Millisekunden festgelegt, da es auf verschiedenen Rechnern sicherlich unterschiedlich lange dauert bis die Daten vollständig in den Lesebuffer geschrieben wurden.

Durch die Methode »ReadText« wird jetzt der Rest des Datenpuffers der COM-Schnittstelle gelesen. Diese Methode blockiert nicht! Es wird das gelesen, was noch nicht aus dem Puffer gelesen wurde. Die Methode weiß nicht, ob die Antwort komplett ist oder nicht. Spätestens jetzt sollte die Wichtigkeit des Werts »Wait« klargeworden sein.

Methode »ReadCharWait«

Zum Schluss wird die komplette Antwort aus dem ersten gelesenen Zeichen (gelesen durch die Methode »ReadCharWait«) und der anschließend gelesenen Zeichenkette (gelesen durch die Methode »ReadText«) konkateniert und zurückgeliefert.

Gesamtantwort

3.5 Open – Öffnet eine Chart-Datei und initialisiert die Messparameter

Die Subroutine »Open(Sender: TObject)« öffnet eine Chart-Datei (siehe Kapitel 2) und liest die dort gespeicherten Messparameter ein. Anfangs wird ein Open-Dialog aufgerufen und der Nutzer aufgefordert, die zu öffnende Datei auszuwählen. Wird der Dialog durch den Nutzer abgebrochen, bricht auch die Prozedur ab. Anschließend wird der Name der Messvorlage und der Standarddateiname für die Messergebnisdatei aus der Datei ausgelesen. Sind die Informationen in der Chart-Datei nicht vorhanden, werden Standardwerte verwendet. Dies wird aber beim Typ der Messung nicht vorgenommen. Ist kein Messtyp konfiguriert, wird abgebrochen.

*Aus der Chart-Datei
gelesene Informationen*

Weiterführend werden die Dimensionen der Vorlage (Anzahl der Felder in X- und Y-Richtung), sowie die Einstellung für die Häufigkeit des Weißabgleichs und der zu verwendende physikalische Filterwert gelesen. Die bestimmten Werte werden dem Nutzer im Log-Fenster angezeigt. Abschließend wird die globale Variable »ChartLoaded« auf »true« gesetzt und der Tool-Button für den Start der Messung aktiviert.

Ein Schließen der geöffneten Chart-Datei ist nicht notwendig. Die Variablen bleiben erhalten bis das Programm beendet wird. Eine neu geöffnete Chart-Datei überschreibt alle vorherigen Variablenwerte.

3.6 Measure – Prozedur zum Messen der Auflichtvorlage

Grundlegend ist die Measure-Prozedur für das Justieren der zu messenden Messvorlage, die Benennung und genaue Ansteuerung der einzelnen Farbfelder und schließlich für das eigentliche Messen im konfigurierten Messmodus verantwortlich.

Zu Beginn der Prozedur werden vielfältige Einstellungen vorgenommen. Unter anderem werden Werte globaler Variablen und das GUI (Graphical User Interface) verändert. Die globale Variable »Process« wird auf »true« gesetzt und die Tool-Buttons werden entsprechend ihren Funktionen aktiviert oder deaktiviert. Um die Messvorlage zu fixieren, wird die Haltefunktion des SpectroScans über das Kommando »HoldPaper« aktiviert.

Verwendete Variablen

Die Vorlage wird durch ein dynamisches Array mit dem Variablennamen »Chart« im Speicher repräsentiert. Die Länge des Arrays wird durch die Prozedur Measure auf die Anzahl der Farbfelder gesetzt. Ein zweites, diesmal zweidimensionales Array mit der Bezeichnung »Dump« dient dazu, die Namen der Farbfelder sowie die Messwerte temporär aufzunehmen, bevor diese dann später in die Ausgabedatei geschrieben werden. Die X-Dimension dieses Array wird auf die Anzahl der Farbfelder gesetzt, die Y-Dimension wird auf 37 gesetzt, um den Namen des Feldes und die 36 Messwerte einer spektralen Remissionsmessung aufnehmen zu können. Die Größe der Y-Dimension könnte man von der Art der Messung abhängig machen. So würde man bei einer Messung von CIE-Lab mit dem Wert 4 auskommen (Name des Feldes plus die drei Einzelwerte). Dies lässt sich ggf. später im Programm noch berücksichtigen, um nicht unnötigen Speicherplatz für das Dump-Array zu allokalieren.

Datentyp für die Messvorlage

Das »Chart« ist ein Array of Records. Der Record ist vom Datentyp TField. Jedes Element des Arrays besteht wiederum aus drei Unterfeldern. Zwei Felder mit den Namen »X« und »Y« vom Typ »String«, beschränkt auf die Länge 5 und einem Feld »Name«, ebenfalls vom Typ »String«. Somit kann jedem Array Element (das für ein Farbfeld steht) der Name und der X- und Y-Koordinatenwert zugeordnet werden. Der Datentyp für X und Y wurde als »String« gewählt, da in den beiden Koordinatenfeldern keine Integer-Werte sondern hexadezimale Werte (als Zeichenkette) gespeichert werden.

Nach der Speicherreservierung werden die Namen der Arrayfelder entsprechend der Konfiguration gesetzt. Es können automatisch generierte Feldnamen, wie z. B. »C23«, verwendet oder alternativ bereits vordefinierte Feldbezeichnungen aus der Chart-Datei eingelesen werden.

Im nächsten Schritt wird der »SaveDialog« aufgerufen, der den Benutzer auffordert, einen Dateinamen für das Messergebnis festzulegen. Als vordefinierter Dateiname wird der vorkonfigurierte Standarddateiname aus der Chart-Datei genommen. Dieser kann jedoch vom Nutzer noch beliebig verändert werden. Wird kein Dateiname festgelegt, d. h. der »SaveDialog« abgebrochen, bricht die Prozedur ab. Eine Messung kann nun nicht mehr stattfinden.

Save-Dialog

Die Einjustierung der Messvorlage erfolgt über drei Punkte. Somit kann die Position der Vorlage genau bestimmt werden. Der erste Punkt ist das Farbfeld in der linken oberen Ecke, der zweite Punkt wird durch das in der rechten oberen Ecke befindliche Farbfeld definiert. Die Darstellung schematisiert den Messtisch mit der Vorlage und zeigt die drei Justierpunkte.

*Justierung der
Auflichtvorlage*

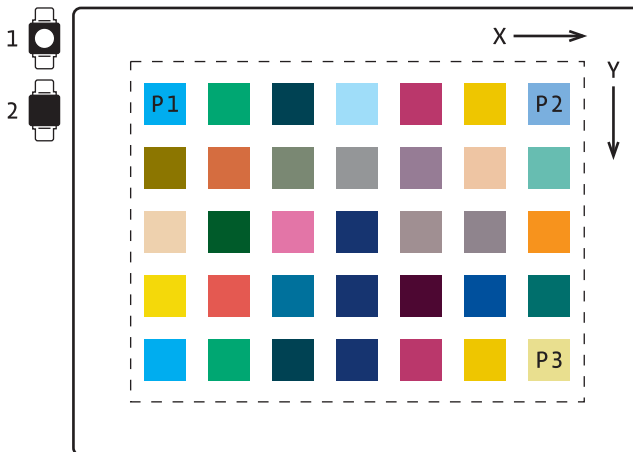


Abbildung 3.1

*Messvorlage mit den
Justier- und den beiden
Weißabgleichspunkten
(erster ist mit einer
Weißkachel, der zweite mit
einem Dummy bestückt).
Die Messvorlage befindet
sich in Idealposition
(parallel zu beiden Achsen).*

Der letzte Justierpunkt ist in der untersten rechten Ecke. Der Nutzer hat die Möglichkeit, die Justierpunkte vorzukonfigurieren. Die Punkte werden entsprechend ihren vordefinierten XY-Werten angefahren. Anschließend wird der SpectroScan in den Offline-Zustand versetzt, um die Folientastatur des Gerätes zu aktivieren. Der Nutzer kann über das Visier am Spectrolino jeden Justierpunkt genau ansteuern. Ist die genaue Position erreicht, muss der Nutzer den Punkt durch einen Klick auf den OK-Button im Message-Dialog bestätigen. Nun werden zum einen die XY-Koordinaten für den Messsensor des Spectrolino abgefragt und in Variablen gespeichert und zum anderen wird die Position des Visiers (die nun ggf. verändert wurde) ausgelesen. Die Koordinaten des Visiers werden in die Chart-Datei geschrieben. Dies hat den Vorteil, dass bei erneutem Messen derselben Vorlage die zuletzt verwendeten Justierpunkte wieder angefahren werden. Bei gleicher

*Vorkonfiguration der
Justierpunkte*

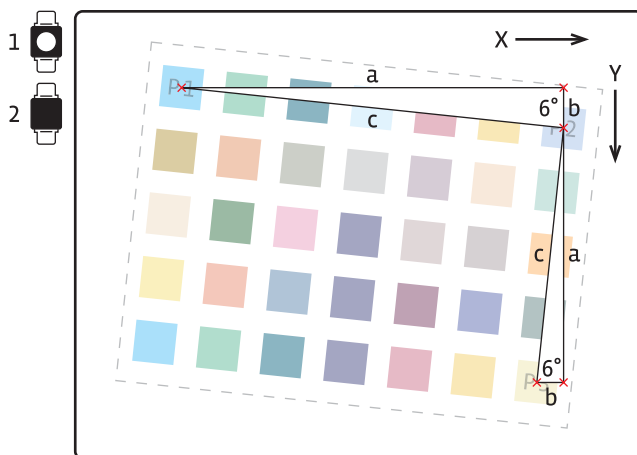
Position der Messvorlage zur vorherigen Messung muss somit keine Änderung an der Justierung mehr vorgenommen werden. Bei unterschiedlicher Position der Vorlage zur vorherigen Messung hilft diese Funktionsweise, die Justierpunkte schneller anzusteuern, da die ungefähren Positionen bereits angefahren wurden. Wird eine der drei Justierungen über den Dialog abgebrochen, gilt dies als Messungsabbruch. Die Verbindung zum Spectro-Scan wird getrennt und die Prozedur beendet.

Sind alle drei Justierpunkte erfolgreich bestimmt worden, ermittelt das Programm die Länge der Strecke von P1 zu P2 (Integer-Variable »xl«), sowie die Streckenlänge von P2 zu P3 (Integer-Variable »yl«). Die Längen werden über den Satz des Pythagoras bestimmt. Nachdem die Werte bekannt sind, wird der Abstand der einzelnen Farbfelder in X- und Y-Richtung berechnet. Die Seitenlängen der Richtungen werden durch die Anzahl der Felder pro Richtung minus eins dividiert. Dieser Versatz wird in den Integer-Variablen »dx« bzw. »dy« gespeichert.

*Datentyp für die
Messvorlage*

Abbildung 3.2

*Winkelberechnung
für die Rotation der
Farbfeldkoordinaten*



Da die Vorlage mathematisch gesehen niemals parallel zu den beiden Achsen des SpectroScans liegt, wird ein Winkel für die Abweichung von der idealen Position (Parallelität zu beiden Achsen) bestimmt. Bei meiner Beschreibung lasse ich unberücksichtigt, dass natürlich durch Zufall die Vorlage in Idealposition auf dem XY-Tisch liegen kann. Ist die Y-Koordinate der Punkte P1 und P2 gleich, wird kein Winkel berechnet, d. h. der Wert der Variablen »angle« ändert seinen vordefinierten Nullwert nicht. Für die Berechnung der XY-Position der einzelnen Farbfelder wird für die folgende Rotation angenommen, dass der Punkt 1 der Nullpunkt des XY-Koordinatensystems ist. Der Punkt 1 ist der Drehpunkt für die Rotation.

Die Positionen aller Punkte werden in zwei ineinander geschachtelten for-Schleifen berechnet. Es wird über die Laufvariablen der Schleifen und mit Hilfe des Versatzes der einzelnen Felder die X- und Y-Koordinate jedes Feldes in Abhängigkeit vom Nullpunkt (Justierpunkt P1) bestimmt und im Array »Chart« gespeichert. Die Koordinaten der Farbfelder sind noch nicht um den bestimmten Winkel gedreht. Alle Punkte sind um den X- bzw. Y-Wert des Punktes 1 Richtung Nullpunkt verschoben. Diese Translation ist notwendig, damit der Punkt 1 zum Nullpunkt des »imaginären« Koordinatensystem wird und eine Koordinatentransformation (Drehung) in P1 möglich wird. Nach der Drehung um den Winkel wird diese Translation wieder rückgängig gemacht. Es wird also die inverse Translation auf die durch die Drehung neu bestimmten Punkte angewendet.

Für die Drehung kann man sich eine auf dem SpectroScan gesetzte Z-Achse vorstellen, die 90° auf dem Nullpunkt (Justierpunkt P1) steht. Gedreht wird um die gedachte Achse. Drehungen werden über Transformationsmatrizen realisiert. Jeder Ursprungspunkt wird mit der Transformationsmatrix multipliziert. Ergebnis ist der neue Bildpunkt.

$$T_1 = \begin{bmatrix} \cos(a) & -\sin(a) & 0 & 0 \\ \sin(a) & \cos(a) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad T_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & x \\ 0 & 1 & 0 & y \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

*Transformationsmatrizen
für die Rotation und
Translation (homogene
Koordinaten).*

Die Transformationsmatrix T_1 ist für die Rotation notwendig, die Translation wird mit der Matrix T_2 vorgenommen. Die Drehungsmatrix T_1 dreht die Punkte um den positiven Winkel, d. h. im Uhrzeigersinn. Ist es notwendig, gegen den Uhrzeigersinn zu drehen (negativer Winkel a), ist in der Matrix lediglich das Minus aus der ersten Zeile vor das $\sin(a)$ der zweiten Zeile zu setzen. Die Rotationsrichtung wird dadurch bestimmt, ob die Y-Koordinate des Justierpunktes P2 größer oder kleiner ist als die Y-Koordinate des Punktes P1. Liegt also der Punkt P2 über dem Punkt P1 (verglichen mit der Idealposition der Vorlage) wird um den negativen Winkel gedreht, im anderen Fall um den positiven Winkel. Auf die gedrehten Koordinaten wird anschließend die Translation angewendet. Die Verschiebung erfolgt um den X- bzw. Y-Wert des Punktes P1. Die XY-Koordinaten aus dem »imaginären« Koordinatensystem, bei dem der Punkt 1 der Nullpunkt war, werden anschließend mit dem Ergebnis der Gesamttransformation überschrieben. Das Array »Chart« speichert jetzt für jeden Punkt den Namen und deren dezimale XY-Koordinaten.

Die Kommandos des SpectroScan verlangen hexadezimale Werte für X- und Y-Position. Deshalb werden alle Werte in einer Schleife konvertiert. Die Umrechnung erfolgt über die Funktion »IntToHex«, welche den zu konvertierenden Wert als Integer und die Länge des gewünschten hexadezimalen Strings verlangt. Da der SpectroScan hexadezimale Daten im Little-Endian-Format erwartet, werden die 2 Bytes pro Koordinatenrichtung vertauscht. Das niederwertige Byte wird an die vorderste Stelle geschrieben, gefolgt von dem höherwertigen. Da im Array »Chart« der Datentyp »String« für die Koordinaten verwendet wird (definiert durch den strukturierten Datentyp »TField«), ist die Speicherung der hexadezimalen Strings einfach möglich. Der Nachteil daran ist, dass die Werte bis zu diesem Zeitpunkt immer zwischen Integer und String hin- und her konvertiert werden müssen.

Funktion Weißabgleich

Nachdem das Array alle notwendigen Daten für die Ansteuerung aller Farbfelder speichert, kann die Messung beginnen. Zuvor muss jedoch noch ein Weißabgleich stattfinden. Der Weißabgleich ist in einer eigenständigen Funktion ausgelagert. Nach Aufruf dieser wird der boolsche Rückgabewert überprüft. Bei Erfolg kann die Messung stattfinden, tritt ein Fehler auf, wird die Messung abgebrochen und der Nutzer informiert. Erst nach der Weißkalibrierung ist es möglich, auf den korrekt installierten physikalischen Filter zu testen, der in der Chart-Datei konfiguriert wurde. Der Spectrolino ist in der Lage, den aufgesetzten Filter automatisch zu erkennen. Wird ein falscher Filter verwendet, wird die Prozedur »Measure« verlassen.

Funktion Messung

Die eigentliche Messung wird über eine Schleife gesteuert. Es wird über alle Felder iteriert. Für jedes Feld werden die Koordinatenwerte aus dem Array »Chart« gelesen und angefahren. Es wird also jedes Feld absolut positioniert. Ist das Feld angefahren, wird der Spectrolino abgesetzt, das Farbfeld gemessen und der Messsensor wieder angehoben. Eine erneute Weißkalibrierung entsprechend der Konfiguration wird regelmäßig durchgeführt. Die Antwort auf die Messung wird unter Beachtung ihres Formats über eine Hilfsvariable vom Typ »TStringList« in Einzelwerte zerlegt und im Array »Dump« gespeichert. Zur Sicherheit werden nach jeder Einzelmessung alle bis dahin gemessenen Ergebnisse in die Ergebnisdatei geschrieben. Sollte mal ein Fehler auftreten, sind somit nicht alle bis dahin gemessenen Werte verloren. Während der gesamten Messung wird der Nutzer mit Log-Informationen über den Fortgang der Messung informiert. Nach jedem gemessenen Farbfeld werden die Zeitangaben neu berechnet und in der Status-Bar des Programms aktualisiert. Ist die Messung aller Farbfelder beendet, wird die Verbindung zum Gerät getrennt und standardmäßig das Messergebnis im Windows-Notepad angezeigt. Diese Anzeigefunktion kann der Nutzer über die Chart-Datei deaktivieren.

4. Messung der Repetitionsgenauigkeit des Spektrometers

Um Aussagen über das Repetitionsverhalten der spektralen Messgenauigkeit des Spectrolino Spektralfotometers treffen zu können, wurden zwei Versuchsmessungen zu jeweils 500 Einzelmessungen eines 100%-Magenta-Farbfeldes vorgenommen. Das Farbfeld wurde auf einem HP Color LaserJet 5550 gedruckt. Vor der ersten Versuchsmessung erfolgte ein Weißabgleich (Absolutweiß). Auf einen weiteren Weißabgleich wurde verzichtet. Bei der zweiten Versuchsmessung wurde die Herstellervorgabe zur Häufigkeit der Weißkalibrierung eingehalten. Es wurde vor der ersten und immer nach 50 Einzelmessungen kalibriert.

Zur Versuchsdurchführung kam eine modifizierte Version des Programms zum Einsatz. In einer zusätzlichen Schleife wurden 500 Array-Felder mit identischen X/Y-Werten initialisiert. Die Positionierung des Spectrolino über dem Messfeld erfolgte manuell. Die Routinen für die geometrische Kalibrierung der Messvorlage wurden auskommentiert. Bei der Versuchsmessung ohne Weißabgleich wurde der Konfigurationswert für den Weißabgleich größer der Anzahl der Einzelmessungen gesetzt, so dass nach dem Abgleich vor Messbeginn kein weiterer durchgeführt werden konnte.

Versuchsbeschreibung

Programmmodifikationen

	Ohne Weißabgleich (Ist)			Mit Weißabgleich (Soll)		
	L^*_1	a^*_1	b^*_1	L^*_2	a^*_2	b^*_2
\bar{X}_0 (001-050)	46,6285	66,3782	-1,5929	46,5749	66,3804	-1,5662
\bar{X}_1 (051-100)	46,5196	66,2971	-1,5564	46,6002	66,4211	-1,6028
\bar{X}_2 (101-150)	46,4242	66,2188	-1,5065	46,6123	66,4421	-1,6057
\bar{X}_3 (151-200)	46,3389	66,1585	-1,4533	46,5957	66,4377	-1,6067
\bar{X}_4 (201-250)	46,2811	66,1174	-1,4161	46,6032	66,4503	-1,6156
\bar{X}_5 (251-300)	46,2449	66,0933	-1,4014	46,6012	66,4527	-1,6164
\bar{X}_6 (301-350)	46,2190	66,0801	-1,3778	46,6023	66,4518	-1,6247
\bar{X}_7 (351-400)	46,2056	66,0690	-1,3622	46,6053	66,4453	-1,6352
\bar{X}_8 (401-450)	46,1960	66,0623	-1,3458	46,5980	66,4441	-1,6314
\bar{X}_9 (451-500)	46,1873	66,0609	-1,3302	46,5919	66,4529	-1,6163
mF	0,1462	0,1059	0,0870	0,0201	0,0260	0,0203

Tabelle 4.1

Mittelwerte beider Versuchsmessungen des Magenta-Farbfeldes über 50 Einzelmessungen (CIE-Lab). Die Standardabweichung (mittlerer Fehler) wurde nicht über die 10 Mittelwerte bestimmt, sondern über alle 500 Einzelwerte. Sinnvollerweise werden hier aber jeweils nur die Mittelwerte von je 50 Einzelmessungen dargestellt.

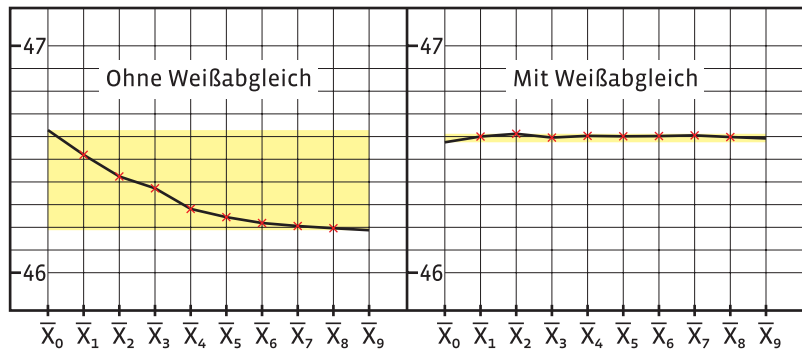
Die Messparameter des Spectrolino waren bei beiden Versuchsmessungen identisch. Aus den ermittelten CIE-Lab-Messdaten wurde in Microsoft Excel das arithmetische Mittel von je 50 Einzelmessungen und die Standardabweichung (mittlerer Fehler) aller 500 Einzelmessungen berechnet.

Verarbeitung der Messdaten

Beide Versuchsmessungen sind durchaus signifikant. Bei der ersten Messung ohne Weißabgleich während der Einzelmessungen ist eine stetige Abnahme aller drei CIE-Lab-Werte festzustellen. Bei der zweiten Messung verhalten sich die Werte nahezu konstant. Diese Abweichungen sind in der Praxis zu vernachlässigen und können als normale Toleranzen des Messgerätes eingestuft werden. Das folgende Diagramm verdeutlicht die unterschiedlichen Messwerte der Luminanz beider Versuchsmessungen.

Diagramm 4.2

Darstellung der Luminanz der Einzelmessungen (arithmetisches Mittel aus je 50 Einzelmessungen) mit und ohne Weißkalibrierung des Magenta-Farbfeldes.

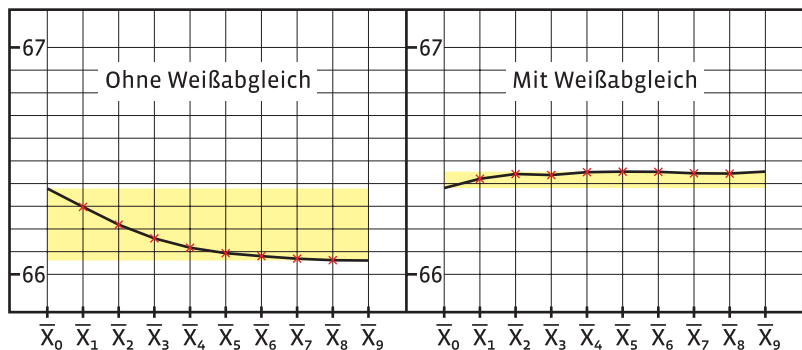


Veränderung der Luminanz

Es ist deutlich zu sehen, dass die Luminanzwerte der Versuchsmessung ohne Weißabgleich kontinuierlich fallen. Dies bedeutet somit einen niedrigeren Wert auf der Helligkeitsachse (L^* -Achse). Die Messprobe erscheint dem Spektralfotometer bei steigender Anzahl von Messungen dunkler. Der schematische Aufbau des CIE-Lab-Farbraums (Abbildung 4.7) macht es möglich, den Zusammenhang zwischen Werteveränderungen und den resultierenden Farbeindrücken zu erkennen.

Diagramm 4.3

Grafische Darstellung der Veränderung auf der Rot-Grün-Achse (a^* -Wert), mit und ohne Weißkalibrierung des Magenta-Farbfeldes.



Die Schwankungen bei der Messung mit regelmäßigem Weißabgleich (laut Herstellervorgabe nach 50 Messungen) sind minimaler Art und als Standardcharakteristik des Spectrolino einzustufen. Tendenziell ist bei stei-

gender Anzahl von Messungen keine Veränderung der Kurve festzustellen. Aus der schematischen Darstellung (Grafik 4.3) ist die Veränderung für die Farbanteile auf der Rot-Grün-Achse (a^* -Wert) ersichtlich.

Der Kurvenverlauf der Farbveränderungen auf der Rot-Grün-Achse ähnelt dem Verlauf der Luminanzveränderungen sehr. Bei der Versuchsmessung ohne Weißabgleich ist eine Abnahme der Werte festzustellen, jedoch hat der a^* -Wert innerhalb der 500 Einzelmessungen geringer abgenommen, als es bei der Luminanz der Fall ist. Die Wertabnahme ist im Vergleich zum Helligkeitswert etwas gleichmäßiger, da die Punkte nahezu eine Kurve bilden. Beachtet man den vierten Mittelwert für die Luminanz, kommt man zu dem Ergebnis, dass die Einzelmessungen 151 bis 200 von einem theoretisch idealen Kurvenverlauf abweichen. Ich gehe davon aus, dass diese Abweichung »zufällig« in dem Bereich liegt und bei den Einzelmessungen 151–200 etwas größere Werte gemessen wurden.

Der Werteverlauf bei der Messung mit Weißkalibrierung hat einen leichten Anstieg bis zum dritten Mittelwert (d. h. bis zur Messung 150), danach liegen die Messergebnisse ohne größere Schwankungen permanent in der Mitte des Wertebereichs 66,4 bis 66,5. Der Kurvenverlauf ist von der Charakteristik her mit dem Verlauf der Luminanz (Messung mit Weißabgleich) prinzipiell identisch.

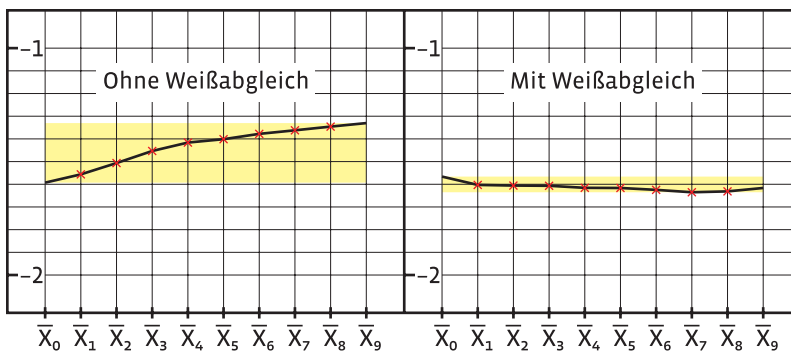


Diagramm 4.4

Visualisierung der Veränderung auf der Gelb-Blau-Achse (b^* -Wert), mit und ohne Weißkalibrierung des Magenta-Farbfeldes.

Obige Darstellung macht den Verlauf des Farbwertes auf der Gelb-Blau-Achse (b^* -Wert) kenntlich. Im direkten Vergleich zu den beiden anderen Darstellungen ohne Weißabgleich fällt ein mehr geradliniges Erscheinungsbild der Wertreduzierung auf. Die Mittelwerte vier, fünf und sechs liegen über einem angenommenen geradlinigen Verlauf zwischen der ersten und letzten Einzelmessung. Der Werteverlauf der Messung mit Weißabgleich zeigt keine Auffälligkeiten. Werteveränderungen finden in einem kleinen Bereich statt. Am Anfang und im letzten Drittel ist ein leichter Abfall fest-

Veränderungen auf der Gelb-Blau-Achse (b^* -Werte)

zustellen, der sich zum Ende der Messungen mit dem letzten Wert wieder auf den Anfangswert einpegelt. Bei den Messungen mit Weißabgleich ist auffällig, dass alle drei Kurven für die CIE-L*a*b*-Werte in einem geringfügigen Schwankungsbereich liegen, d. h. die Messwerte relativ konstant sind und im normalen Fehlerbereich für spektrale Messungen liegen. In der folgenden Tabelle sind die Differenzen zwischen den arithmetischen Mitteln der L*- a*- b*-Werte sowie der Farbabstand ΔE^* aufgeführt.

Tabelle 4.5

Ermittelte Abstände der Einzelwerte L*, a* und b*, sowie Farbabstand ΔE^* (L*a*b*) nach jeweils 50 Einzelmessungen des Magenta-Farbfeldes.

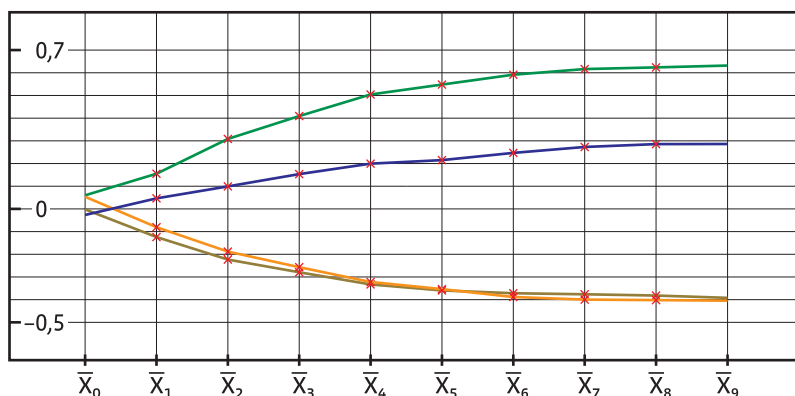
	$L^*_1 - L^*_2$	$a^*_1 - a^*_2$	$b^*_1 - b^*_2$	
	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*
\bar{X}_0 (001-050)	0,0536	-0,0022	-0,0267	0,0599
\bar{X}_1 (051-100)	-0,0806	-0,1240	0,0464	0,1550
\bar{X}_2 (101-150)	-0,1881	-0,2233	0,0992	0,3084
\bar{X}_3 (151-200)	-0,2568	-0,2792	0,1534	0,4092
\bar{X}_4 (201-250)	-0,3221	-0,3329	0,1995	0,5044
\bar{X}_5 (251-300)	-0,3536	-0,3594	0,2150	0,5481
\bar{X}_6 (301-350)	-0,3883	-0,3717	0,2469	0,5915
\bar{X}_7 (351-400)	-0,3997	-0,3763	0,2730	0,6131
\bar{X}_8 (401-450)	-0,4020	-0,3818	0,2856	0,6237
\bar{X}_9 (451-500)	-0,4046	-0,3920	0,2861	0,6318

Die Δ -Werte für L*, a* und b* ergeben sich aus den Differenzen von Ist- und Soll aus der Tabelle 4.1. Der Farbabstand ΔE^* für den Farbraum CIE-L*a*b* wurde über den dreidimensionalen Satz des Pythagoras berechnet.

Diagramm 4.6

Grafische Darstellung der Δ -Werte für L*, a*, b*, und des Farbabstandes ΔE^* des Magenta-Farbfeldes.

- ΔL^*
- Δa^*
- Δb^*
- ΔE^*



Die errechneten Δ -Werte aus Tabelle 4.5 wurden in der Grafik 4.6 veranschaulicht. Die Kurven mit den Δ -Werten für die Luminanz und die Veränderung auf der Rot-Grün-Achse sind relativ identisch. Im sechsten Mittelwert

schneiden sich beide Kurven. Vor dem Schnittpunkt weist die ΔL^* -Achse etwas geringere Abweichungen zwischen den beiden Versuchsmessungen auf. Ab Messung 300 (nach dem sechsten Mittelwert) nehmen die Abweichungen der Versuchsmessungen im Vergleich zu den Veränderungen auf der Rot-Grün-Achse (Δa^* -Werte) minimal zu. Beide Kurven laufen in den negativen Bereich, d. h. die Luminanz wird mit zunehmenden Messungen ohne Weißabgleich geringer. Die Farbe wird vom Messgerät mit steigender Anzahl von Messungen als dunkler erfasst. Die negativen Δa^* -Werte zeigen, dass es eine Verschiebung in Richtung Grün auf der Rot-Grün-Achse gibt, d. h. mit zunehmenden Messungen ohne Weißkalibrierung werden weniger rote und mehr grüne Farbanteile messtechnisch erfasst. Das unten abgebildete Modell des CIE-Lab-Farbraums zeigt, wie sich Veränderungen der Einzelwerte L^* , a^* und b^* auf den Farbeindruck auswirken.

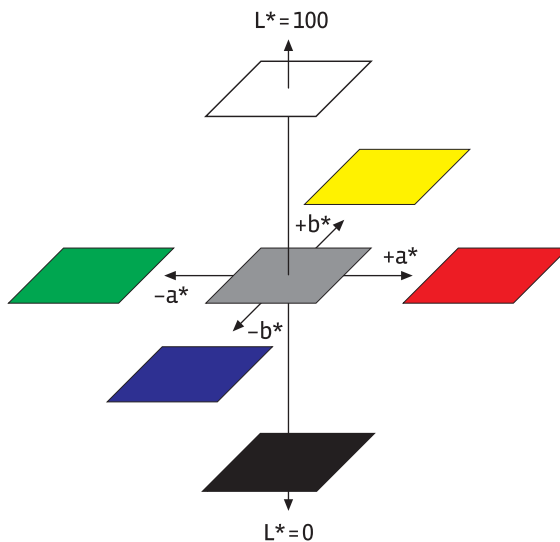


Abbildung 4.7

Schematische Darstellung
des CIE-Lab-Farbraums.

Die Kurve für die Δb^* -Werte steigt in den positiven Bereich, da die negativen b^* -Werte bei der Versuchsmessung ohne Weißabgleich permanent abnehmen. Dies bedeutet eine Verschiebung auf der Gelb-Blau-Achse in Richtung Gelb und somit eine Verminderung von blauen Farbanteilen. Die Δb^* -Kurve weist innerhalb der 500 Einzelmessungen eine geringere Werteschwankung auf. Die Kurven für die b^* -Werte aus den Messungen mit und ohne Weißabgleich (Diagramm 4.4) sind sich unter den drei Einzelwerten am »ähnlichsten«. Der absolute Betrag (in den einzelnen Abbildungen farbig unterlegt), um den der Wert von Messbeginn bis zum Messende gefallen ist, ist unter den CIE-Einzelwerten der geringste. Am »unterschiedlichsten« sind die Kurven bei der Luminanz (Diagramm 4.2), was durch die

ΔL -Werte bestätigt wird. Die Veränderung der einzelnen CIE-Werte beider Versuchsmessungen liegt für die Rot-Grün-Achse (a^* -Werte) zwischen den Veränderungen der Helligkeits- und der Gelb-Blau-Achse.

Schaut man sich die Standardabweichung (mittlerer Fehler) für die Einzelmessungen aus der Tabelle 4.1 an, die das Maß für die Streuung der Werte um den Mittelwert ist, wird ersichtlich, dass diese bei der Luminanz am größten und bei den b^* -Werten am geringsten ist. Der mittlere Fehler für Werte auf der Rot-Grün-Achse (a^* -Werte) befindet sich von der Größenordnung her zwischen den Helligkeits- und den b^* -Werten. Die Standardabweichung wirkt sich auf das Erscheinungsbild der Werte insofern aus, dass geringe Standardabweichungen einen »geradlinigen Charakter« und die Parallelität zur x-Achse begünstigen. Große Standardabweichungen wirken bezüglich des Kurvencharakters niedrigeren Standardabweichungen entgegen. Somit kann ein Zusammenhang zwischen der Standardabweichung der Einzelwerte und den Δ -Werten festgestellt werden. Eine große Standardabweichung bei den Messwerten ohne Weißabgleich bedingt größere Δ -Werte zwischen den beiden Versuchsmessungen. Eine geringe Standardabweichung unterstützt kleinere Δ -Werte.

Um von den Veränderungen der einzelnen CIE- $L^*a^*b^*$ -Werten auf die Veränderung des Gesamtfarbeindrucks zu schließen, wurde der geometrische Farbabstand ΔE^* zwischen der korrekten (mit Weißabgleich) und der absichtlich falschen (ohne Weißabgleich) Versuchsmessung bestimmt und ebenfalls im Diagramm 4.6 grafisch dargestellt. Erwartungsgemäß steigt der Farbabstand mit steigender Anzahl von Einzelmessungen ohne erneuten Weißabgleich.

Übersicht 4.8
Interpretation
und Einteilung
des geometrischen
*Farbabstandes ΔE^**

ΔE^* 0–1: normalerweise nicht sichtbare Abweichung
 ΔE^* 1–2: sehr geringe Abweichung (mit geschultem Auge erkennbar)
 ΔE^* 2–4: mittlere Abweichung (mit dem Auge wahrnehmbar)
 ΔE^* 4–6: deutliche Abweichung
 ΔE^* >6: starke Abweichung beider Farben

Oben angegebene Übersicht hilft den numerischen Wert ΔE^* einzuordnen und zu beurteilen. Der ΔE^* aus den Mittelwerten der letzten 50 Einzelmessungen beträgt 0,6318. Nach 500 Messungen ohne Weißabgleich mit dem Spectrolino ist dieser Wert als nicht sichtbare Abweichung einzustufen. Bei steigender Anzahl von Messungen kann davon ausgegangen werden, dass der geometrische Farbabstand weiter steigt, wenn auch nicht so schnell. Diese Abweichung könnte dann auch das Auge erkennen.

Die getroffenen Aussagen zum Repetitionsverhalten der Messgenauigkeit des Spektralfotometers auf der Basis des 100%-Magenta-Farbfeldes beweisen noch nicht, dass die Messgenauigkeit farbusabhängig ist. Dazu ist eine Farbmessung nicht ausreichend. Eine zweite Versuchsmessung soll Anhaltspunkte liefern, ob bei der Messung einer anderen Farbe Analogien zu den bisher gewonnenen Messwerten vorliegen oder ob sich ein abweichendes Verhalten, unter Umständen bis zu einem anderen Verlauf ergibt. Für die zweite Messung wurde ein 100%-Gelb-Farbfeld gewählt, da die Farbe Gelb im CIE-Lab-Farbraum einen großen Farbabstand ΔE^* zu Magenta aufweist. Bestimmt man den ΔE^* mit Hilfe der ersten Mittelwerte beider Farbfelder (mit Weißabgleich) so ergibt sich ein Wert von aufgerundet 116.

Die Messung des gelben Feldes erfolgte unter den gleichen Bedingungen wie bei der ersten Magenta-Messung. Im Folgenden werden die Messergebnisse in Tabellen und Diagrammen dargestellt.

	Ohne Weißabgleich (Ist)			Mit Weißabgleich (Soll)		
	L^*_1	a^*_1	b^*_1	L^*_2	a^*_2	b^*_2
\bar{X}_0 (001-050)	81,4673	-6,2146	81,7550	81,5570	-6,2425	81,7870
\bar{X}_1 (051-100)	81,3977	-6,1264	81,7326	81,6160	-6,2616	81,8409
\bar{X}_2 (101-150)	81,3522	-6,0726	81,7636	81,6272	-6,2547	81,8414
\bar{X}_3 (151-200)	81,3074	-6,0216	81,7499	81,6284	-6,2508	81,8407
\bar{X}_4 (201-250)	81,2643	-5,9740	81,7351	81,6329	-6,2486	81,8492
\bar{X}_5 (251-300)	81,2282	-5,9280	81,7037	81,6423	-6,2519	81,8453
\bar{X}_6 (301-350)	81,1959	-5,8879	81,7212	81,6419	-6,2477	81,8489
\bar{X}_7 (351-400)	81,1748	-5,8519	81,7219	81,6440	-6,2426	81,8500
\bar{X}_8 (401-450)	81,1605	-5,8150	81,7189	81,6430	-6,2423	81,8529
\bar{X}_9 (451-500)	81,1519	-5,7825	81,7209	81,6437	-6,2367	81,8497
mF	0,1039	0,1354	0,0228	0,0291	0,0173	0,0252

Tabelle 4.9

Mittelwerte beider Versuchsmessungen des Gelb-Farbfeldes über 50 Einzelmessungen (CIE-Lab). Die Standardabweichung (mittlerer Fehler) wurde nicht über die 10 Mittelwerte bestimmt, sondern über alle 50 Einzelwerte. Sinnvollerweise werden hier aber jeweils nur die Mittelwerte von je 50 Einzelmessungen dargestellt.

Vergleicht man die Veränderungen der Werte aus den Magenta- und Gelbmessungen unter Zuhilfenahme der Diagramme, ergeben sich folgende Feststellungen. Der Kurvenverlauf der Luminanz ohne Weißabgleich ist bei beiden Farbmessungen fast identisch und verläuft gegen Null. Der Werterückgang ist bei Magenta höher und in einem niedrigeren Wertebereich als bei der Messung des gelben Farbfeldes. Die Werte auf der Rot-Grün-Achse (a^* -Wert) der Gelb-Messung ohne Weißkalibrierung streben aus dem sehr niedrigen negativen Wertebereich schneller gegen Null als die a^* -Werte der Magenta-Messung, welche aus dem hohen positiven Wer-

Vergleich der Kurvenverläufe beider Messungen ohne Weißabgleich.

Diagramm 4.10

Darstellung der Luminanz der Einzelmessungen (arithmetisches Mittel aus je 50 Einzelmessungen) mit und ohne Weißkalibrierung des Gelb-Farbfeldes.

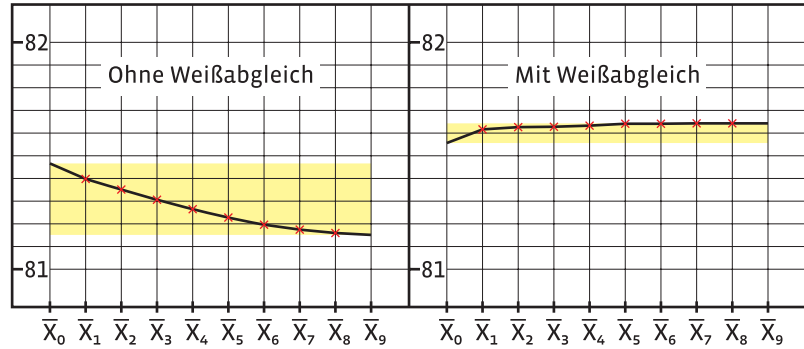


Diagramm 4.11

Grafische Darstellung der Veränderung auf der Rot-Grün-Achse (a^* -Wert), mit und ohne Weißkalibrierung des Gelb-Farbfeldes.

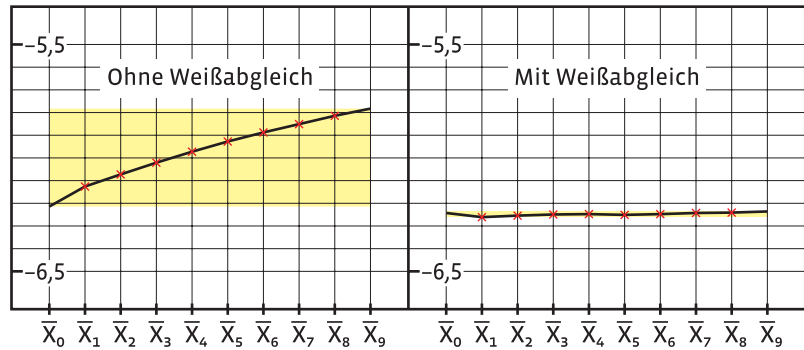
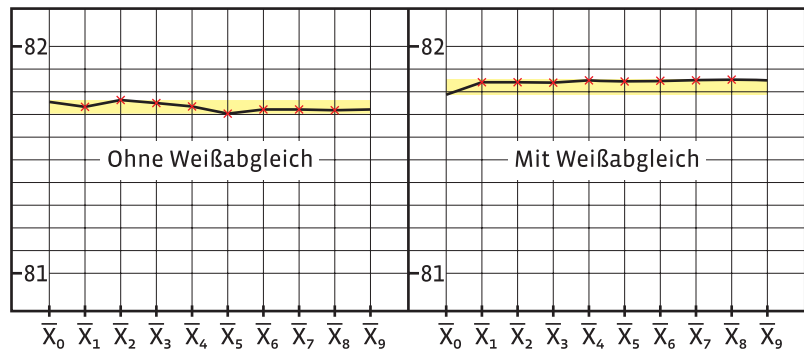


Diagramm 4.12

Visualisierung der Veränderung auf der Gelb-Blau-Achse (b^* -Wert), mit und ohne Weißkalibrierung des Gelb-Farbfeldes.



Die Wertedifferenz, welche die b^* -Kurve der Gelb-Messung innerhalb der 500 Einzelmessungen zurücklegt, ist weitaus geringer als bei der Magenta-Messung. Auffallend ist auch hier wieder der große Unterschied in der Entfernung zum Nullwert. Während der b^* -Wert der Gelb-Messung aus

dem Bereich 81 bis 82 fällt, nähert sich die b^* -Kurve der Magenta-Messung aus einem Bereich -2 bis -1 in Richtung Nullpunkt. Bei allen Messungen mit Weißabgleich ist festzustellen, dass die Werteverläufe relativ geradlinig sind und nur in einem geringen Wertebereich schwanken.

	$L^*_1 - L^*_2$	$a^*_1 - a^*_2$	$b^*_1 - b^*_2$	
	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*
\bar{X}_0 (001-050)	-0,0897	0,0279	-0,0320	0,0990
\bar{X}_1 (051-100)	-0,2183	0,1352	-0,1083	0,2787
\bar{X}_2 (101-150)	-0,2750	0,1821	-0,0778	0,3389
\bar{X}_3 (151-200)	-0,3210	0,2292	-0,0908	0,4047
\bar{X}_4 (201-250)	-0,3686	0,2746	-0,1141	0,4736
\bar{X}_5 (251-300)	-0,4141	0,3239	-0,1416	0,5445
\bar{X}_6 (301-350)	-0,4460	0,3598	-0,1277	0,5871
\bar{X}_7 (351-400)	-0,4692	0,3907	-0,1281	0,6239
\bar{X}_8 (401-450)	-0,4825	0,4273	-0,1340	0,6583
\bar{X}_9 (451-500)	-0,4918	0,4542	-0,1288	0,6817

Tabelle 4.13

Ermittelte Abstände der Einzelwerte L^* , a^* und b^* , sowie Farbabstand ΔE^* ($L^*a^*b^*$) nach jeweils 50 Einzelmessungen des Gelb-Farbfeldes.

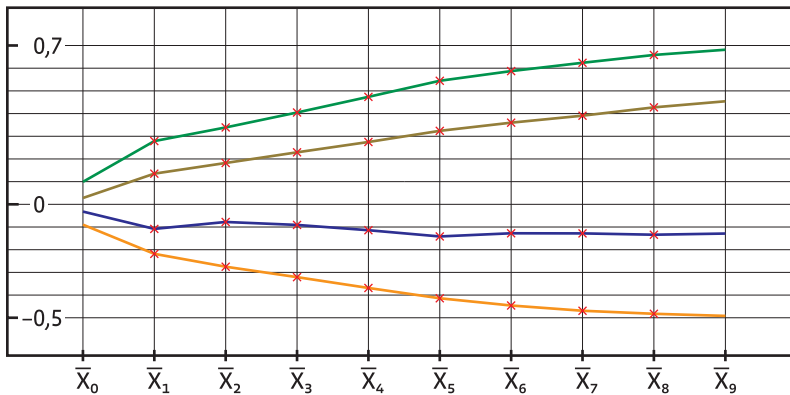


Diagramm 4.14

Grafische Darstellung der Δ -Werte für L^* , a^* , b^* , und des Farbabstandes ΔE^* des Gelb-Farbfeldes.

- ΔL^*
- Δa^*
- Δb^*
- ΔE^*

Der Gesamtfarbabstand ΔE^* der beiden Gelb-Messungen liegt nahezu im selben Bereich wie ΔE^* der beiden Magenta-Messungen. Legt man beide Diagramme übereinander, so zeigt sich, dass die Abweichungen der ΔE^* -Kurve nur minimal sind. Der ΔE^* -Wert des Mittels der letzten 50 Messungen liegt nur unwesentlich höher als bei Magenta. Da der Gesamtfarbabstand ΔE^* von den Veränderungen ΔL^* , Δa^* , Δb^* abhängt, zeigt sich, dass sich die minimalen unterschiedlichen Entwicklungen der Einzelwerte ausgleichen. Nach 500 Messungen lässt sich feststellen, dass auch die Abweichung der Gelb-Messung ohne regelmäßigen Weißabgleich von maximal 0,6817 ebenfalls als nicht sichtbar einzustufen ist (siehe Übersicht 4.8).

Aus den zwei Messungen der Farbfelder Magenta und Gelb lassen sich für die Messgenauigkeit des Spectrolino Spektralfotometers folgende Erkenntnisse ableiten.

Die Ergebnisse beider Farbmessungen haben gezeigt, dass die Messabweichungen in ihrer Charakteristik in beiden Fällen ähnlich sind, obwohl zwei Farben aus dem CIE-Lab-Farbraum gemessen wurden, welche deutlich auseinander liegen. Das Ausmaß der Gesamtabweichungen nach 500 Einzelmessungen ist nahezu gleich. Deutlich wird dies bei der Betrachtung des Gesamtfarbabstand ΔE^* .

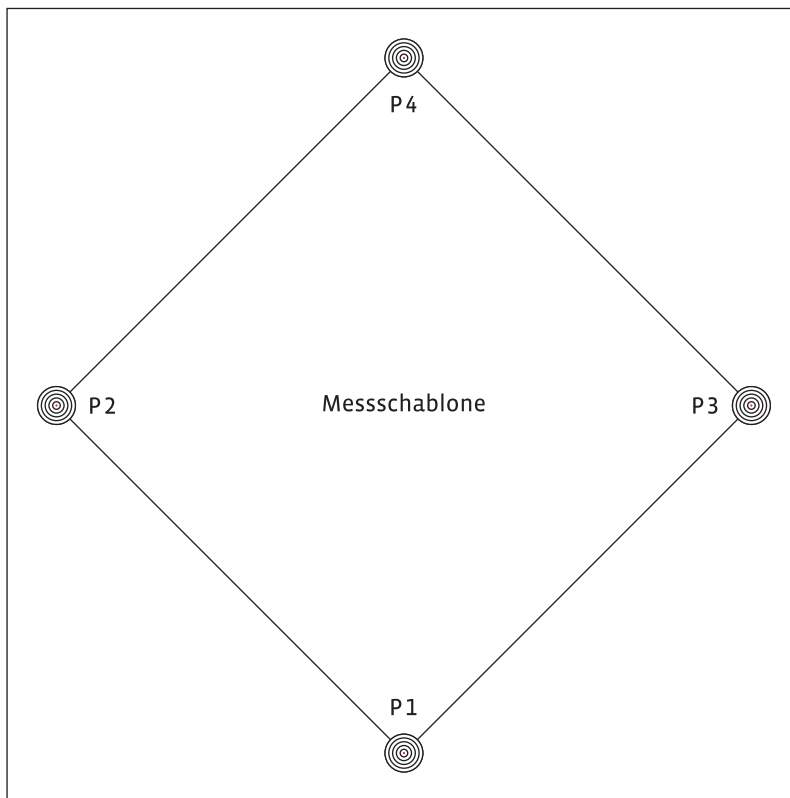
Es wurde dargestellt, wie sich das Weglassen des regelmäßigen Weißabgleiches, der vom Hersteller nach jeweils 50 Messungen vorgesehen ist, auf zwei Prozessfarben auswirkt. Mit steigender Anzahl der Messungen nimmt das Spektrometer die Farben dunkler wahr. Die Farbverschiebungen auf der Rot-Grün- und der Gelb-Blau-Achse fallen Richtung Null, wenn auch mit unterschiedlicher Fallgeschwindigkeit. Die Geschwindigkeit der Wertabnahme ist je nach Bereich, in dem die Werte liegen, verschieden. Dies wird durch die gelb hinterlegten Kurven in den Diagrammen ersichtlich. Ein Luminanzwert näher Null fällt schneller als ein relativ hoher Wert. Dies wird beim Vergleich der Diagramme 4.2 und 4.10 deutlich. Vergleicht man die Diagramme 4.3 und 4.11, lässt sich diese Aussage auch auf die Werte der Rot-Grün-Achse treffen. Auf die b^* -Werte kann man die Aussage ebenfalls anwenden. Hier ist zusätzlich festzustellen, dass in den oberen Wertebereichen die Werteveränderungen mit zunehmenden Messungen sehr gering sind und auch im unteren Bereich geringer als bei der Luminanz und dem a^* -Wert.

Die auf den Achsen gegenüberliegenden Farbbereiche gleichen sich aus, d. h. der Abfall eines positiven a^* -Wertes hat einen Rückgang von roten Farbanteilen und somit gleichzeitig eine Zunahme von grünen Farbanteilen zufolge. Nehmen die L^* -Werte ab, wird die Farbe dunkler. Grob gesagt, nähern sich die Werte bei zunehmender Anzahl von Messungen ohne Weißabgleich in Richtung schwarz.

Die Abweichungen nach 500 Wiederholungsmessungen sind gering und aus praktischer Sicht zu vernachlässigen. Das Auge kann die Farbabweichungen nicht erkennen. Zur Ausschaltung dieser geringen Abweichungen sollte trotzdem auf den Weißabgleich laut Herstellerangabe nicht verzichtet werden um auch geringste Verfälschungen der Farbmessungen zu vermeiden. Exakte Messwerte sind Grundlage für die Qualitätssicherung bei der farbgetreuen Wiedergabe farbiger Vorlagen.

5. Messung der Positionierungsgenauigkeit des XY-Tisches

Um die Positionierungsgenauigkeit des SpectroScan-XY-Tisches einschätzen zu können, sollte eine geeignete Möglichkeit erarbeitet werden, mit welcher eventuelle Ungenauigkeiten bei der Ansteuerung einer Auflichtvorlage ermittelt werden können. Hierfür wurden eine Testvorlage sowie ein Testprogramm entwickelt. Das Programm steuert verschiedene Punkte der Testvorlage abwechselnd an und setzt den Messkopf des Spectrolinos auf der Vorlage ab. Durch das am Spectrolino aufgesetzte Visier mit Fadenkreuz wird ein sehr genaues Ablesen der angesteuerten Position auf der Vorlage möglich.



Grafik 5.1

Darstellung der Messschablone (Größe ca. 55 % der zur Messung verwendeten Schablone). Der erste Messpunkt war bei der Messung dem »XY-Ursprung« des SpectroScan zugewandt. Die Messschablone wurde in FreeHand erstellt und mit einem Laserdrucker ausgedruckt.

Die erstellte Messvorlage ist ein um 45 Grad gedrehtes Quadrat mit einer Seitenlänge von 120 mm. An jedem Eckpunkt des Quadrates befinden sich 5 Kreise mit Durchmessern von 1 mm bis 5 mm. Die Eckpunkte sind rot markiert. Eine exakte Positionierung auf die Kreiszentren ist somit einfach erkennbar. Die konzentrischen Kreise im Abstand von 0,5 mm ermöglichen

Messschablone

Dimensionsänderungen der gedruckten Messschablone

eine Bestimmung der Abweichung in jeder Richtung. Da auch das transparente Visier Kreise besitzt, lässt sich eine Überlagerung mit den Kreisen der Schablone leicht feststellen. Die entwickelte Messschablone ist somit zum Bestimmen der durch den SpectroScan angesteuerten Position besser geeignet als Millimeterpapier.

Nach dem Anvisieren eines Punktes (in diesem Falle wird der Punkt 1 als Startpunkt gewählt) und dem Abfragen seiner XY-Koordinaten wäre eine mathematische Bestimmung der XY-Koordinaten der anderen drei Punkte möglich. Durch den Druck der Messschablone treten allerdings Ungenauigkeiten auf, deren Ursache die Mechanik des Druckers (Papiertransport) ist. Das in FreeHand mit den Dimensionen 120 mm × 120 mm angelegte Quadrat entspricht nach dem Druck nicht exakt der gewünschten Größe. Diese minimalen Abweichungen sind normalerweise zu vernachlässigen. Bei der Verwendung des Ausdruckes als Messschablone mit einem Auflösungsbereich von 0,5 mm wird es aber kritisch. Das ausgedruckte Quadrat weist eine Seitenlänge von knapp 121 mm auf. Wären die Veränderungen in irgendeiner Richtung gleichmäßig, könnte man dies bei der mathematischen Koordinatenbestimmung berücksichtigen. Im Endeffekt lässt sich aber feststellen, dass die ausgedruckte Schablone minimal »verzerrt« ausgegeben wird und somit die Bestimmung eines »Verzerrungsfaktors« in irgendeiner Richtung unmöglich ist. Gerade weil die Linien der Messschablone weder waagrecht noch senkrecht sind, fällt die Abweichung der geometrischen Dimensionen des Quadrates bei der Kontrolle mit dem Lineal auf.

Ich hatte alle Punkte mathematisch bestimmt und anfahren lassen. Die Abweichungen waren jedoch sehr deutlich und für einen aussagekräftigen Versuch inakzeptabel. Es wurde also eine andere Möglichkeit genutzt, um die exakten Positionen der vier Punkte zu bestimmen.

Bestimmung der Positionierungskordinaten

Die XY-Koordinaten der vier Messpunkte wurden mit einem Testprogramm bestimmt. Da ein genaues Positionieren in 0,1 mm-Schritten mit Hilfe der Tasten am SpectroScan auf die Messpunkte nicht möglich ist, wurde das Testprogramm mit der Möglichkeit versehen, den Messkopf relativ von der aktuellen Position in 0,1 mm-Schritten zu bewegen (Funktion »Move Relative«). Der Messkopf wurde zuerst über die Folientastatur des SpectroScan grob an den zu bestimmenden Punkt gefahren. Zur exakten Positionierung wurde anschließend das Testprogramm verwendet, um das Visier genau in 0,1 mm-Schritten auf dem roten Punkt (Ecke des Quadrats) zu bringen. Zur Kontrolle wurde der Messkopf abgesetzt. Als die genaue Position erreicht war, wurde über die Funktion »Query Actual Position« die aktuelle

Position des Visiers (Reference Type 01) abgefragt. Im Testprogramm angelegte Variablen wurden mit den für die vier Punkte bestimmten XY-Koordinaten initialisiert. Zur Bestimmung der Repetitionsgenauigkeit wurden Einzelmessungen durchgeführt. Es wurde immer zwischen den zwei untersuchten Punkten 100 mal hin- und hergefahren, jeder Punkt wurde also hundertfach angesteuert. Das Visier wurde abgesetzt und erst nach 5 Sekunden wieder angehoben, um ein Ablesen der angesteuerten Position zu ermöglichen. Vor jedem Beginn eines Teilversuches wurden über das SpectroScan-Kommando »Init Motor Position« die Nullpositionen der beiden Steuermotoren gesetzt. Es wurde jeweils sichergestellt, dass das Visier zum Ablesen der Positionen fest am SpectroScan montiert war, um eine Veränderung durch das dauernde Auf- und Absetzen des Messkopfes auszuschließen. Insgesamt erfolgten sechs Positionierungsmessungen zwischen je zwei Punkten, deren Ergebnisse nachfolgend stichpunktartig

- bereits nach dem zweiten Anfahren von P1 ist eine Abweichung auf dem Rand des innersten Messkreises festzustellen
- P1 wird bei allen folgenden Positionierungen weiterhin mit dem Fehler angesteuert
- P4 wird jedes Mal genau angefahren, es tritt keine Veränderung zu der Positionierung unmittelbar nach der 0/0-Kalibrierung ein

1. Messung

Punkt 1 ↔ Punkt 4

- beide Messpunkte werden jedes Mal exakt angefahren
- es ist eindeutig ablesbar, dass der Messkopf im innersten Kreis auf dem roten Punkt abgesetzt wird

2. Messung

Punkt 2 ↔ Punkt 3

- auf P2 wird immer genau positioniert
- P1 wird wie bei der ersten Messung beim zweiten Anlauf mit einem Fehler angesteuert
- der Fehler bleibt bis zum Ende der Messung in P1 ablesbar

3. Messung

Punkt 1 ↔ Punkt 2

- Punkt P3 wird bei jedem Anlauf exakt angefahren
- P1 wird wie bei der ersten und dritten Messung mit einem Fehler auf dem ersten Ring nach dem zweiten Anlauf positioniert

4. Messung

Punkt 1 ↔ Punkt 3

Unmittelbar nach dem Befehl »Init Motor Position« wird der Punkt 1 exakt angefahren. Auffällig ist, dass der Punkt P1 immer sofort nach dem ersten Ansteuern ohne Neukalibrierung (dem zweiten Ansteuern im Versuch) mit

einem Fehler angefahren wird. Dabei wird das Visier am Spectrolino immer genau auf den ersten Messkreis abgesetzt. Es ist dabei unabhängig, ob der Partnerpunkt direkt gegenüber oder im Winkel von 45° rechts oder links von dem Punkt P1 zu finden ist. Es folgen die Resultate der letzten beiden Messungen.

5. Messung

Punkt 3 ↔ Punkt 4

- P3 wird beim zweiten Anlauf mit einem sehr leichten Fehler angefahren, der bis zum Ende der Messung bestehen bleibt
- auf den Punkt P4 wird immer exakt positioniert

6. Messung

Punkt 2 ↔ Punkt 4

- P2 wird immer exakt auf dem roten Mittelpunkt positioniert
- auf dem Punkt P4 wird kurz nach Messbeginn eine minimale Abweichung sichtbar
- diese Abweichung bleibt innerhalb des ersten Messkreises

Zusammenfassung

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass bei allen Messungen im Punkt P1 eine Abweichung eingetreten ist. Da nie außerhalb des ersten Messkreises positioniert wurde, liegt diese Abweichung im Bereich von $\pm 0,5$ mm zum Zielpunkt. Warum der Fehler immer im Punkt P1 auftritt, lässt sich ggf. damit begründen, dass es der nächste Punkt zum Koordinatenursprung des Gerätes ist. Dies ist nur eine Vermutung, da die Ursache vielfältig sein kann. Zu vermerken ist, dass der am XY-Tisch angesteckte Spectrolino leicht wackelt und durch Vibrationen beim Ansteuern seine Position minimal verändern kann. Die geringfügigen Abweichungen bei der Ansteuerung der Punkte P3 und P4 sind nicht wirklich erwähnenswert. Auf einen systematischen Fehler der Steuermechanik lässt sich nicht schließen.

Beurteilungen der Messergebnisse

Alle festgestellten »Fehler« sind für die einwandfreie Funktionsweise des SpectroScan XY-Tisches bedeutungslos. Der Durchmesser der Messblende des Spectrolino beträgt 4,0 mm. Auf den neuen standardisierten Vorlagen z. B. ECI 2002 sind die Farbfelder 5,5 mm × 5,5 mm groß. Somit ist nach exakter Einjustierung der Vorlage auszuschließen, dass ein Feld nicht exakt angesteuert und somit ein falscher Messwert bestimmt wird. Das Gerät arbeitet zuverlässig und präzise.

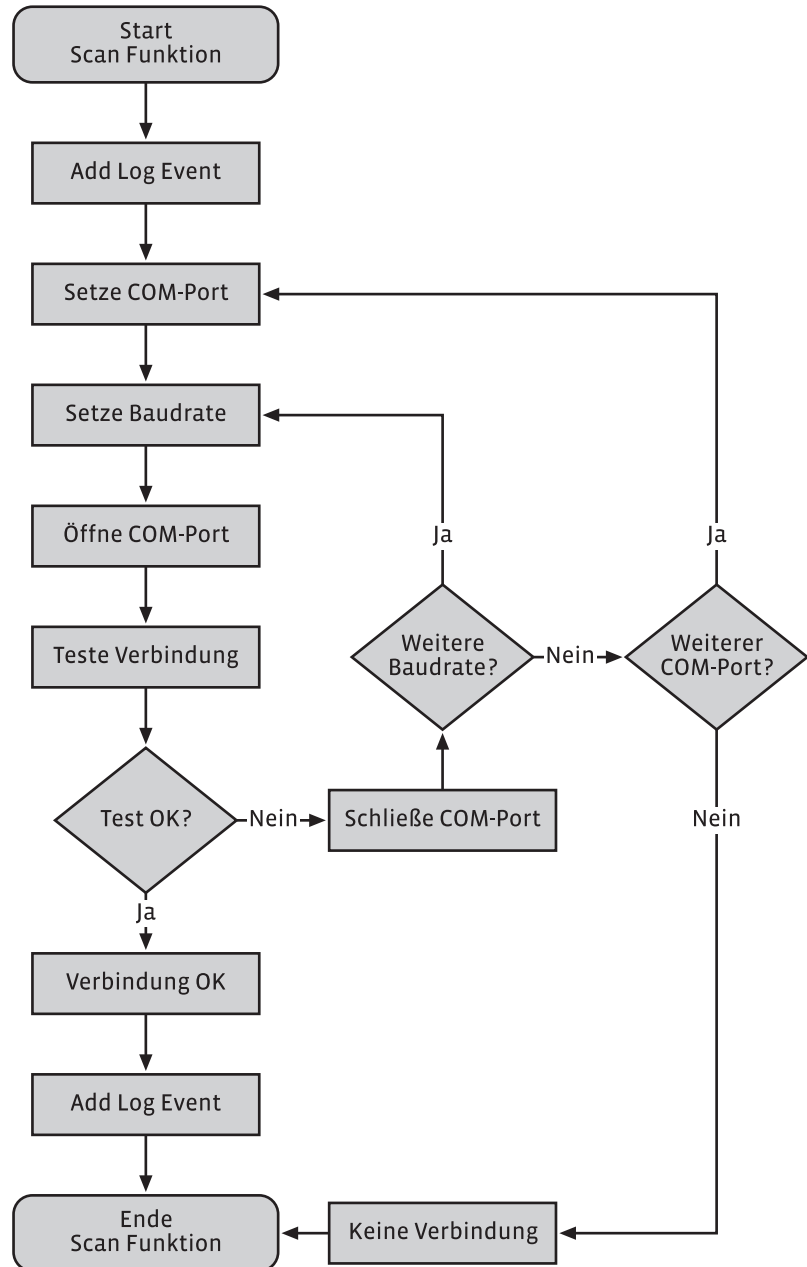
6. Schlussbemerkung

Die aus der Aufgabenstellung resultierende Fragestellung, ob das Repe-
tierverhalten und die Positionierungsgenauigkeit der Geräte Spectrolino
und SpectroScan als exakt anzusehen sind, hätte man aus reinen Ver-
nunftsgründen mit »Ja« beantworten können. Anderenfalls wären diese
Geräte nicht mehr im Einsatz. Das Problem lag aber darin, durch die Aus-
wertung von Messungen wissenschaftlich nachzuweisen, dass diese Aus-
sage stimmt. Mit der Studienarbeit dürfte dieser Beweis erbracht sein. Un-
abhängig davon lag der Schwerpunkt der Arbeit auf der Entwicklung der
Messoftware, welche so ausgelegt wurde, dass weitere Programmfunkti-
onen unkompliziert und schnell hinzugefügt werden können.

7. Anhang – Programmablaufplan

Programmablaufplan

Ablauf der Scan-Routine
(siehe Seite 10) zum
Bestimmen der aktuellen
Verbindungskonfiguration.



8. Quellenverzeichnis

- [1] **ECI - European Color Initiative**
URL: <http://www.eci.org>

- [2] **Rudolf E. Burger**: Colormanagement – Konzepte, Begriffe, Systeme
Springer Verlag Berlin Heidelberg, 1997
ISBN: 3-540-61202-5

- [3] **Ulrich Thiele, Michael Kaffka**: Farbmanagement
doculine-Verlags GmbH, 2000
ISBN: 3-9805770-8-2

- [4] **Bernhard Kalhoff**: Farbgetreue Druckausgabe (Stand September 2001)
URL: <http://www.rz.uni-kiel.de/ausgabe/cm-kurs>

- [5] **Wikipedia – Die freie Enzyklopädie**: Lab-Farbraum
URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Lab-Farbraum>

- [6] **Dipl.-Ing. (FH) Druckereitechnik Stephan H. Hartl**: Copyshop-Tips.de
URL: <http://www.copyshop-tips.de/luf07.php>

- [7] **Walter Doberenz, Thomas Kowalski**: Borland Delphi 2005 (1. Auflage)
Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, 2005
ISBN: 3-446-40201-2

- [8] **GretagMacbeth**: Spectrolino, SpectroScan Serial Interface (Edition 5)

